

REPORTE DEL PROYECTO MULTIDISCIPLINARIO

**MODELACIÓN DE LOS SISTEMAS HÍDRICO Y
ECONÓMICO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO**

REPORTE 1

**ANÁLISIS COSTO BENEFICIO PARA EL SANEAMIENTO DE
LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL
ESCURRIMIENTO DE LA PRESA VALSEQUILLO**

**RESPONSABLES: LILIA RODRÍGUEZ TAPIA
JORGE A. MORALES NOVELO**

Coordinadora de grupo de trabajo: IBI Patricia Zavala Vargas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



17 DE MAYO DE 2010

ÍNDICE

No.	Título	Página
	Introducción	3
3.1	Población y necesidades de infraestructura hídrica al 2025	5
3.1.1	Población	5
3.1.2	Demanda de agua potable y generación de aguas residuales	6
3.2	Requerimientos de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales domésticas	6
3.2.1	Infraestructura actual y déficit de tratamiento	6
3.3	Estimación de la infraestructura requerida para el tratamiento de aguas residuales municipales	8
3.3.1	Caso Puebla	8
3.3.2	Caso Tlaxcala	9
3.3.3	Toda la región	9
3.4	Inversión en plantas de tratamiento para el 2025	11
3.5	Análisis costo-beneficio de la inversión aplicada a la construcción de plantas de tratamiento	12
	Recomendaciones	15
	Referencias	16
Anexo 1	Población actual y estimada para el 2025 de los municipios ubicados dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo	17
Anexo 2	Plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en los estados de Puebla y Tlaxcala	19
Anexo 3	Propuesta de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en el escurrimiento de la presa Valsequillo 2010-2025	22

Lista de figuras

No.	Título	Pág.
3.1	Presa Valsequillo	3
3.2	Proliferación del lirio acuático en la presa Valsequillo	3
3.3	Mapa de ubicación de la presa Valsequillo	4
3.4	Proceso de lodos activados	10

Lista de tablas

No.	Título	Pág.
3.1	Estimación de la población 2025	5
3.2	Estimación de la demanda de agua potable y generación de aguas negras 2025	6
3.3	Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales existentes 2005	7
3.4	Déficit de tratamiento de aguas residuales municipales al 2010	8
3.5	Déficit de tratamiento al 2025 con la infraestructura existente en el 2005	8
3.6	Infraestructura propuesta para el tratamiento de aguas residuales en Puebla, 2025	9
3.7	Infraestructura propuesta para el tratamiento de aguas residuales en Tlaxcala, 2025	9
3.8	Infraestructura propuesta para el tratamiento de aguas residuales en el escurrimiento de la presa Valsequillo, 2025	10
3.9	Inversión estimada para construir plantas de tratamiento de aguas residuales 2010-2025	11
3.10	Costo de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales 2010-2025	12
3.11	Análisis costo-beneficio	13

Introducción

La presa Manuel Ávila Camacho mejor conocida como la presa Valsequillo, construida con la idea de control de avenidas, regularización y aprovechamiento de los escurrimientos de los ríos aledaños, riego agrícola, turismo recreativo y pesca ribereña, a medida que pasa el tiempo reduce los impactos para los que fue diseñada (Figura 3.1).



Figura 3.1. Presa Valsequillo

Fuente: 4th World Water Forum, 2006.

Actualmente la presa enfrenta un grave problema de contaminación, lo cual ha provocado restricciones en el uso de agua para riego agrícola y disminución de la actividad turística. Al igual, la contaminación y el aumento de nutrientes y sedimentos de la presa ha favorecido la proliferación de lirio acuático (Figura 3.2).



Figura 3.2 Proliferación del lirio acuático en la presa Valsequillo

Fuente: Milenio.com, sf.

Durante el 2005 los daños ocasionados por la contaminación -del río Atoyac y de sus efluentes que descargan sus aguas en la presa Valsequillo - se estimaron en casi medio millón de pesos (Rodríguez Tapia & Morales Novelo, 2010b) y considerando que la contaminación se incrementa en el tiempo, es de esperar que el daño acumulado se incremente generando cada vez mayores daños sobre la población y afectando las actividades económicas.

El área afectada comprende 22 municipios de Puebla y 48 de Tlaxcala (Gobierno del Estado de Puebla 2005-2011, 2006). Esta región corresponde a lo que se denomina escurrimiento de la presa Valsequillo (Figura 3.3), la cual por sus características geográficas define que la solución a la contaminación del área debe hacerse con la participación de todos los municipios de la región, sin importar que sean diferentes estados, ni distintos partidos los que gobiernan. Todos en conjunto deben trabajar para tratar las aguas residuales y lograr que la contaminación en la región se regule.



Figura 3.3 Mapa de ubicación de la presa Valsequillo

Fuente: 4th World Water Forum, 2006.

El gobierno del estado de Puebla y el de Tlaxcala, junto con el gobierno de la República y la Comisión Nacional de Agua, han elaborado el Proyecto del Rescate Ecológico de los Ríos Zahuapán, Atoyac, Alseseca y Presa Valsequillo, en el cual se plantea construir redes de agua potable, alcantarillado, colectores y plantas de tratamiento, rehabilitar plantas de tratamiento ya existentes, limpiar las aguas del vaso y controlar la maleza acuática. Sin embargo, a la fecha no se ha pasado a la fase de operación de dicho plan y los daños al ambiente continúan incrementándose.

De acuerdo a los resultados del Reporte 1 y 2 (Rodríguez Tapia & Morales Novelo, 2010a y Rodríguez Tapia & Morales Novelo, 2010b), la contaminación de los cuerpos de agua de la región escurrimiento de la presa Valsequillo se debe a la ausencia de tratamiento de las aguas residuales, por lo que es impostergable priorizar la construcción de plantas de tratamiento en la región para lograr una cobertura de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales al 100%.

En este trabajo se estiman los volúmenes de agua a tratar en la región de estudio en el periodo que va del 2010 al 2025, así como el monto de inversión requerido, en un escenario dinámico que cubra las necesidades crecientes de infraestructura de

tratamiento al 2025, tomando como referencia los parámetros del Feasibility Study for the Valsequillo Watershed Clean-Up Program (Black and Veatch, 2006).

El crecimiento de la red de agua potable y drenaje, y su inversión no se incluyen en este reporte aunque está implícito que debe crecer simultáneamente al crecimiento de las aguas residuales a tratar durante el periodo de estudio.

3.1 Población y necesidades de infraestructura hídrica al 2025

3.1.1 Población

Dentro de la región escurrimiento de la presa Valsequillo, Puebla ocupa mayor área geográfica y número de habitantes que Tlaxcala. Así con 22 municipios, Puebla tiene aproximadamente 2.5 veces más población que los 48 municipios de Tlaxcala. Esta información es relevante para dimensionar la generación de aguas residuales.

En el 2010 la población de ambos estados es aproximadamente de 3, 235,893 habitantes, y requieren un suministro de agua potable de 8,741.06 litros por segundo (l.p.s.), que implica descargas de aguas residuales del orden de 6,555.79 l.p.s. Estas magnitudes se incrementan al paso del tiempo puesto que el crecimiento de la población exige de un uso mayor de recursos hídricos.

En la Tabla 3.1 se registran las tasas de crecimiento promedio anual de la población ubicada dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo. Se observa que para el 2010 los 22 municipios de Puebla concentran 2, 318,824 habitantes¹, y con una tasa de 1.56%, se extrapola que para el 2025 su población aumente a 2, 846,322. Para la región de Tlaxcala los 48 municipios explican una población de 917,069 habitantes en el 2010², y al crecer a una tasa de 1.65% promedio anual, resulta en una estimación de 1, 191,505 habitantes para el año 2025.

Por tanto, se espera que para el 2025 los 70 municipios ubicados dentro del escurrimiento que contiene cuenten con una población aproximada de 4 millones de habitantes. Y que la población de Tlaxcala aumente a un ritmo mayor en 0.09% que la de Puebla, teniendo que para el 2025 la población poblana será 2.4 veces mayor que la de Tlaxcala³.

Tabla 3.1 Estimación de la población 2025

Estado	Total de municipios	Población total 2010	Tasa de crecimiento promedio de la población (%)	Estimación de la población total 2025
Puebla	22	2,318,824	1.56	2,846,322
Tlaxcala	48	917,069	1.65	1,191,505

¹ Los 2, 318,824 habitantes corresponden a la población de 531 localidades que se encuentran dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo, en los 22 municipios de Puebla.

² Para los 48 municipios de Tlaxcala, sólo 811 localidades se encuentran localizadas en el escurrimiento de la presa, por tanto, la población en el 2010 para estas localidades es de 917,069 habitantes.

³ Para mayor detalle de la población en el 2010 y la estimada para el 2025 para cada municipio dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo, ver el Anexo 1.

Total	3,235,893	Total	4,037,827
-------	-----------	-------	-----------

Fuente: Estimaciones propias con base en Black and Veatch, 2006.

3.1.2 Demanda de agua potable y generación de aguas residuales

El crecimiento poblacional trae consigo un aumento de la demanda de agua potable y por ende, un incremento en las aguas negras generadas. Así pues, se estimo el incremento de ambas variables para el 2025.

La demanda de agua potable se calculo tomando en cuenta el crecimiento de la población arriba descrito, y considerando un consumo de agua de 225 litros por persona al día; y la estimación de aguas residuales se calculó aplicando al volumen de agua potable suministrada un factor de generación de aguas negras de 0.75 (Black and Veatch, 2006).

Los resultados para el año 2025 se presentan en Tabla 3.2, los 22 municipios de Puebla alcanzan una población de 2, 846,322 habitantes, los cuales con los factores considerados demandaran 7, 411 litros por segundo (l.p.s.) de agua potable y generaran 5,558.25 l.p.s. de aguas negras. Para Tlaxcala los 48 municipios alcanzan una población de 1, 191,505 habitantes para el 2025, y se estima que demandarán 3,487.50 l.p.s. de agua potable a partir de las que se generan un 75% de agua residual, es decir, 2,615.63 l.p.s.

Así para el 2025, Puebla con 2.4 veces más habitantes que Tlaxcala generará aproximadamente el doble de agua residual que Tlaxcala. El promedio de agua residual por habitante en Puebla es de 0.00195 l.p.s. y en Tlaxcala es de 0.00220 l.p.s. (Black and Veatch, 2006), es decir, en promedio un habitante de Tlaxcala genera mayor cantidad de agua residual que un habitante de Puebla.

Tabla 3.2 Estimación de la demanda de agua potable y generación de aguas negras 2025

Estado	Municipios	Población	Demanda de agua potable l.p.s.	Generación de aguas negras l.p.s.
Puebla	22	2,846,322	7,411.00	5,558.25
Tlaxcala	48	1,191,505	3,487.50	2,615.63
Total Escurrimiento		4,037,827	10,898.50	8,173.88

Fuente: Estimaciones propias con base en Black and Veatch, 2006.

3.2 Requerimientos de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales domésticas

3.2.1 Infraestructura actual y déficit de tratamiento

El balance de la infraestructura de tratamiento existente al 2005 en el escurrimiento de la presa Valsequillo se muestra en la Tabla 3.3, se reportan 31 plantas de tratamiento de

aguas negras de origen doméstico dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo, de las cuales 10 se ubican en Puebla y 21 en Tlaxcala. En su conjunto tienen la capacidad para tratar 3,792.90 l.p.s. y normalmente tratan un flujo de agua residual de 2,896.30 litros por segundo, es decir trabajan al 76% de su capacidad instalada (para mayor detalle de las plantas existentes ver Anexo 2).

Tabla 3.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales existentes 2005

Estado	Número de plantas	Capacidad l.p.s.	Flujo l.p.s.	Capacidad existente sin utilizar
Puebla	10	2,732.00	2,128.10	603.90
Tlaxcala	21	1,060.90	768.20	292.70
Total	31	3,792.90	2,896.30	896.60

Fuente: Black and Veatch, 2006.

Las plantas de tratamiento existentes operan con técnicas diferentes, en Puebla sus plantas presentan los siguientes procesos: filtros biológicos, lagunas de estabilización, biodiscos, tanque séptico, reactor anaeróbico UASB (RAFA), lodos activados y cuatro de tratamiento primario avanzado. De la misma forma en Tlaxcala existen plantas con diferentes procesos de tratamiento, tales como filtros biológicos, pantano, lagunas aireadas, reactor anaeróbico UASB (RAFA), predominando las plantas con el proceso de lagunas de estabilización (Black and Veatch, 2006).

La infraestructura de tratamiento debe aumentar debido a que la generación de aguas residuales aumenta conforme la población crece. Para la estimación del crecimiento de ésta, suponemos que la infraestructura del 2010 es la misma que la existente en el 2005⁴.

La Tabla 3.4 resume el escenario de estimación; si no se construyeran nuevas plantas ni se aumentara la capacidad de tratamiento de las existentes. Para el 2010 existiría una brecha en el tratamiento de aguas residuales del orden de 2,762.80 l.p.s., pues para dicho año las descargas de aguas residuales son de un orden de 6,555.80 litros por segundo y las plantas existentes tienen la capacidad de tratar 3,793 l.p.s. Este déficit es parte importante para explicar el deterioro de los cuerpos de agua en la región de Puebla y Tlaxcala.

Los litros por segundo de agua residual que se generan en Puebla rebasan en 1.7 veces a los l.p.s. que son capaces de tratar sus plantas. Y en Tlaxcala la capacidad en litros por segundo de tratamiento de las plantas es menor en 1.9 veces a los litros de agua residual generada por segundo.

⁴ Es decir, suponemos que para el 2010 existen las mismas 31 plantas de tratamiento de agua residual que en el 2005 y que éstas tienen la misma capacidad de tratamiento indicada en la Tabla 3.3.

Tabla 3.4. Déficit de tratamiento de aguas residuales municipales al 2010

Estado	Generación de aguas negras l.p.s.	Capacidad l.p.s.	Déficit de tratamiento
Puebla	4,528.14	2,732.10	1,796.04
Tlaxcala	2,027.66	1,060.90	966.76
Total	6,555.80	3,793.00	2,762.80

Fuente: Estimaciones propias con base en Black and Veatch, 2006.

Aunado a que la capacidad de tratamiento de las plantas es insuficiente, se tiene el problema de que la mayor parte de las plantas de Tlaxcala necesitan rehabilitación, expansión y/o mantenimiento. Así, si no se construyeran más plantas de tratamiento de agua residual, la brecha sería aún mayor para el año 2025 como lo muestra la Tabla 3.5.

Al tener más habitantes, el estado de Puebla generaría gran cantidad de agua residual, a saber, 5,558.25 l.p.s., teniendo un déficit de tratamiento de 2,826.15. Si Tlaxcala mantuviera sus 21 plantas de tratamiento, 1,554.73 l.p.s. de agua residual no podrían ser tratadas (Tabla 3.5).

Por tanto, en ambos estados 4,380.88 l.p.s. de agua residual quedaría sin tratar, provocando mayor contaminación en el escurrimiento de la presa Valsequillo, lo cual traería graves problemas económicos, ambientales y de salud a la población.

Tabla 3.5 Déficit de tratamiento al 2025 con la infraestructura existente en el 2005

Estado	Generación de aguas negras l.p.s.	Capacidad l.p.s.	Déficit l.p.s. 2005- 2025
Puebla	5,558.25	2,732.10	2,826.15
Tlaxcala	2,615.63	1,060.90	1,554.73
Total	8,173.88	3,793.00	4,380.88

Fuente: Estimaciones propias con base en Black and Veatch, 2006.

Para evitar que la presa Valsequillo se contamine por el escurrimiento de aguas sucias, se necesita construir una gran infraestructura de plantas la cual trate el total de aguas residuales que genere cada municipio. La estimación de las necesidades de tratamiento para el 2025 se describe en el siguiente apartado.

3.3 Estimación de la infraestructura requerida para el tratamiento de aguas residuales municipales

3.3.1 Caso Puebla

Para el tratamiento de aguas residuales en Puebla se considera que las 10 plantas existentes seguirán en uso y se plantea la construcción de 11 plantas más. Por tanto,

como lo muestra la Tabla 3.6 la capacidad de tratamiento total para el 2025, será de 3,442.91 l.p.s. y el déficit de tratamiento de 2,115.34 l.p.s. Este déficit se debe a que no se pretenden construir plantas en todos los municipios del estado de Puebla que se encuentran dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo. Para el 2005, 19 municipios no contaban con planta de tratamiento, y de las 11 que se pretenden construir, dos se construirán en Huejotzingo y en Santa Rita Tlahuapan, municipios que ya tenían su propia planta de tratamiento. Por tanto, 10 municipios quedarán sin infraestructura para el tratamiento de aguas residuales (Black and Veatch, 2006).

Tabla 3.6 Infraestructura propuesta para el tratamiento de aguas residuales en Puebla, 2025

Capacidad de tratamiento por las plantas existentes l.p.s.	Capacidad de tratamiento por las plantas propuestas l.p.s.	Total de agua residual tratada l.p.s.	Generación de aguas negras l.p.s.	Déficit l.p.s. 2005- 2025
2,732.10	690.81	3,442.91	5,558.25	2,115.34

Fuente: Estimaciones propias con base en Black and Veatch, 2006.

3.3.2 Caso Tlaxcala

Para el caso de Tlaxcala, la infraestructura propuesta tratará al 100% los litros por segundo de agua residual que se generan. Por tanto, suponemos que las plantas existentes hasta el 2010 ya no funcionarán para el 2025 debido a su desgaste o porque serán obsoletas. Por tanto, se construirán 48 plantas de tratamiento en cada uno de los municipios que se encuentran dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo.

La Tabla 3.7 señala la cantidad de litros por segundo de aguas negras que la población del estado de Tlaxcala generará, así como la capacidad de tratamiento que tendrán las 48 plantas que se proponen construir.

Tabla 3.7 Infraestructura propuesta para el tratamiento de aguas residuales en Tlaxcala, 2025

Generación de aguas negras l.p.s.	Capacidad de tratamiento por las plantas propuestas l.p.s.
2,615.63	2,711.00

Fuente: Black and Veatch, 2006.

3.3.3 Toda la región

En conjunto, se construirán 59 plantas con una capacidad de tratamiento de 6,13.91 l.p.s. para el escurrimiento de la presa Valsequillo. Teniendo un déficit de tratamiento en el escurrimiento de 2,115.34 l.p.s., proveniente de la comunidad de Puebla (Tabla 3.8).

Tabla 3.8 Infraestructura propuesta para el tratamiento de aguas residuales en el escurrimiento de la presa Valsequillo, 2025

Estado	Generación de aguas negras l.p.s.	Capacidad de tratamiento por las plantas existentes l.p.s.	Capacidad de tratamiento por las plantas propuestas l.p.s.	Capacidad total de tratamiento l.p.s.
Puebla	5,558.25	2,732.10	690.81	3,442.91
Tlaxcala	2,615.63	1,030.28 ¹	2,711.00	2,711.00
TOTAL	8,173.88	2,732.10	3,401.81	6,133.91

Fuente: Black and Veatch, 2006; ¹CONAGUA, 2007.

Para efecto de costos se supone que la mayoría de las plantas que se construirán en ambos estados, aplicarán el tratamiento de lodos activados.

El proceso de lodos activados consiste en una masa de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos que tienen la propiedad de poseer una superficie activada para degradar materiales disueltos y suspendidos por ello el nombre de activados. El tratamiento de lodos activados es un sistema acuático biológico que incluye diversos microorganismos como bacterias, hongos, protozoos y metazoos, su proceso convencional se realiza de la siguiente forma:

El agua residual proveniente de un sedimentador primario entra en el tanque de aireación y junto con los lodos son mezclados a lo largo del tanque mediante un sistema mecánico de aireación, en donde los microorganismos proliferan y estabilizan aeróbicamente la materia orgánica posteriormente el líquido mezclado fluye a un segundo sedimentador, donde es separada el agua tratada de los sólidos sedimentados, que en parte son recirculados al tanque de aireación, realizando un ciclo de lodo activado, el exceso es enviado nuevamente al sistema de tratamiento hasta darle salida al lodo residual (Tchobanoglous & Crites, 2000).

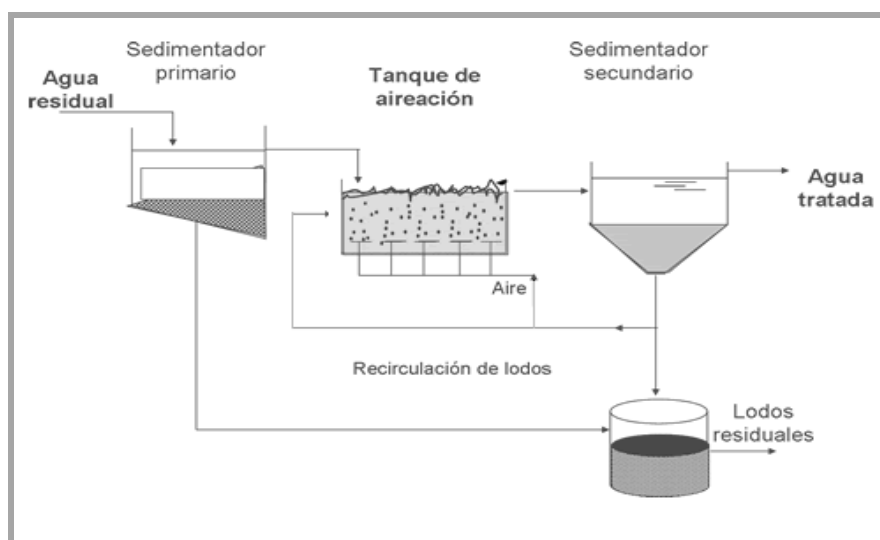


Figura 3.4 Proceso de lodos activados

Fuente: REMA, 2010.

El lodo tiene cantidades significativas de arena, aceite, grasa, metales, sólidos y materia orgánica entre otras sustancias químicas. El lodo es el material que se deposita en tanques, clarificadores, lagunas y sistemas de tratamiento acuáticos y terrestres.

En las aguas residuales sin tratar, los sólidos sedimentables se convierten después de tiempo en lodos tanto inorgánicos como orgánicos, dependiendo de sus características. Las características de los lodos pueden variar según su origen ya sea industrial o doméstico (Tchobanoglous & Crites, 2000).

3.4 Inversión en plantas de tratamiento para el 2025

La propuesta de construcción de plantas de tratamiento se diseña considerando que la infraestructura será construida en un período que va del 2010 hasta el año 2025. En la Tabla 3.9 se resume la inversión total y la promedio anual durante los 15 años, en donde el monto total de inversión será de 3,459.30 millones de pesos.

La inversión en Puebla será aproximadamente 3.5 veces menor respecto a la de Tlaxcala, ya que en este último estado se pretenden construir plantas en cada uno de los municipios situados dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo. En Puebla se pretenden invertir 774.80 millones de pesos durante los 15 años. La inversión en Tlaxcala será aproximadamente de 2,684.50 millones de pesos en el período 2010-2025 (ver Anexo 3).

Tabla 3.9 Inversión estimada para construir plantas de tratamiento de aguas residuales 2010-2025

Inversión (millones de pesos)	Puebla	Tlaxcala	Total escurrimiento
Inversión promedio anual	51.65	178.97	230.62
Inversión total 2010-2025	774.80	2,684.50	3,459.30

Fuente: Black and Veatch, 2006.

El costo de las plantas de tratamiento se estimo considerando que la construcción de una planta costara aproximadamente lo mismo en Puebla y Tlaxcala, 1.06 millones de pesos por litro de agua residual tratada por segundo (Black and Veatch, 2006). La Tabla 3.10 muestra la propuesta y el costo de construcción de las plantas de tratamiento de agua residual en el escurrimiento de la presa Valsequillo.

En Puebla se construirán 11 plantas con una capacidad de tratamiento total de 690.81 l.p.s., el costo de dicha infraestructura asciende a 774.80 millones de pesos.

Con un monto de inversión de 2,684.50 millones de pesos, se pretenden construir 48 plantas que trataran 2,711 l.p.s. de aguas negras.

Tabla 3.10 Costo de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales 2010-2025

Estado	Número de plantas	Capacidad total de tratamiento l.p.s.	Costo unitario de tratamiento l.p.s. millones de pesos	Inversión millones de pesos
Puebla	11	690.81	1.06	774.80
Tlaxcala	48	2,711.00	1.06	2,684.50
Total escurrimiento	59	3,401.81	1.06	3,459.30

Fuente: Black and Veatch, 2006.

3.5 Análisis costo-beneficio de la inversión aplicada a la construcción de plantas de tratamiento

Para realizar el análisis de la inversión en las plantas de tratamiento propuestas tomaremos en cuenta los siguientes supuestos:

- El monto de inversión requerido para llevar a cabo el proyecto puede integrarse con recursos del gobierno federal y con la participación de los estados local, Puebla y Tlaxcala. No se considera si el proyecto se realiza con préstamos externos ni internos ya que el objetivo es evaluar que el proyecto sea factible desde el punto de vista de la tasa interna de retorno (TIR).
- El período del proyecto comienza en el 2010, el cual tomamos como año base o período 0. Y termina en el período 25, el cual corresponde al año 2035.
- Aunque las plantas de tratamiento terminaran de construirse en el 2024, el proyecto tiene 26 períodos debido a que se supone que las primeras plantas de tratamiento construidas en el 2010 tienen una vida útil de 25 años.
- Las plantas de tratamiento terminarán de construirse al final de cada período.
- El costo total del proyecto, \$3,459.30 millones de pesos, se distribuye uniformemente a lo largo del proceso de construcción de las plantas de tratamiento. A partir del 2025 los costos corresponden únicamente a los gastos de operación de las plantas.

La Tabla 3.11 resume el análisis costo- beneficio de la propuesta de inversión para realizar plantas de tratamiento de agua residual en los estados de Puebla y Tlaxcala en su conjunto.

Los beneficios totales fueron tomados del Reporte 2, el cual indica que el daño de no tratar las aguas residuales en el escurrimiento de la presa Valsequillo es de 483.36 millones de pesos (Rodríguez Tapia & Morales Novelo, 2010b). Estos daños son eliminados conforme se construyen plantas de tratamiento, por tanto, son tomados como beneficios. Los 483.36 millones de pesos se dividen entre los 15 primeros años, 2011 al 2025, pues este período es el considerado para construir la totalidad de la plantas. Al iniciar el proyecto, las primeras plantas construidas durante el 2010 arrojarán beneficios de 32.22 millones de pesos para el 2011, este beneficio se va duplicando, triplicando,

etc., según sea el caso del período, además inferimos un factor de beneficio del 10% adicional, debido a que el beneficio anterior hace que el beneficio del siguiente período no sea lineal, sino que incremente.

Los costos totales anuales son de 230.62 millones de pesos desde el año 2010 al 2024, después de este período los costos son de 91 millones de pesos, los cuales corresponden a los gastos de operación. Cada planta tiene un costo de operación de 1.54 millones de pesos aproximadamente.

Al principio del proyecto, los beneficios netos son negativos, debido a que los beneficios totales de construir plantas son pequeños respecto a los costos totales. Conforme pasa el tiempo los beneficios netos van creciendo, este flujo monetario aumenta comienza a ser positivo desde el séptimo período, 2017.

Los beneficios netos al final del proyecto son considerablemente altos, este flujo monetario corresponde a la eliminación del daño ocasionado por la descarga de aguas residuales hacia la presa Valsequillo. Es decir, los beneficios no se ven reflejados en dinero palpable, sino que corresponden a la eliminación del daño a las actividades agrícolas, pesca, recreación, enfermedades. Esta eliminación de daño se palpo como flujos económicos que obtendría la población afectada por la contaminación de la presa Valsequillo si el agua de la presa estuviera limpia.

La TIR del proyecto es de 15.53%, lo cual demuestra que el proyecto es factible económica y ambientalmente.

Tabla 3.11 Análisis costo-beneficio

Año	Periodo	Beneficios Totales	Costos Totales	Beneficios Netos	VAPBN (TIR=15.53%)
2010	0		230.62	-230.62	-230.62
2011	1	32.22	230.62	-198.40	-171.77
2012	2	70.89	230.62	-159.73	-119.73
2013	3	106.34	230.62	-124.28	-80.66
2014	4	141.79	230.62	-88.83	-49.91
2015	5	177.23	230.62	-53.39	-25.97
2016	6	212.68	230.62	-17.94	-7.56
2017	7	248.13	230.62	17.51	6.38
2018	8	283.57	230.62	52.95	16.72
2019	9	319.02	230.62	88.40	24.16
2020	10	354.47	230.62	123.85	29.31
2021	11	389.91	230.62	159.29	32.64
2022	12	425.36	230.62	194.74	34.55
2023	13	460.80	230.62	230.18	35.35
2024	14	496.25	230.62	265.63	35.32
2025	15	531.70	91.00	440.70	50.74
2026	16	584.87	91.00	493.87	49.23
2027	17	643.35	91.00	552.35	47.67

2028	18	707.69	91.00	616.69	46.08
2029	19	778.46	91.00	687.46	44.47
2030	20	856.30	91.00	765.30	42.86
2031	21	941.93	91.00	850.93	41.26
2023	22	1,036.13	91.00	945.13	39.68
2033	23	1,139.74	91.00	1,048.74	38.12
2034	24	1,253.72	91.00	1,162.72	36.59
2035	25	1,379.09	91.00	1,288.09	35.09
TOTAL	26	13,574.86	4,460.30	9,114.56	0.00

Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones

Se deben construir plantas para tratar el agua residual de origen doméstico, aunque el monto de inversión requerido para sanear la presa Valsequillo es grande, este es menor en comparación con los gastos que se tendrían que realizar en un futuro para remediar los daños causados por la contaminación de la presa.

Al construir las plantas de tratamiento debe existir un continuo monitoreo durante el proceso de construcción y durante su operación, para así identificar los posibles errores y aciertos, los cuales servirán para formular un nuevo proyecto que continúe con el cuidado de las aguas de la presa Valsequillo. Al igual es conveniente realizar informes en donde se identifiquen y describan los impactos generados a la población, para así conocer los beneficios generados por el tratamiento de agua residual. Se recomienda que el monitoreo se lleve en municipios representativos, los cuales posean características que puedan ser usadas para comparar otros municipios y que se establezcan con cuidado su periodicidad, tipo de indicadores e instrumentos a utilizar.

La capacidad de agua residual que podrán tratar las plantas corresponde a la generación de aguas negras estimada para el 2025, por tanto, antes de este período el flujo entrante será menor; pero después de esta fecha de estimación, el flujo por segundo será mayor a la capacidad que pueden tratar las plantas, esto debido al aumento de la población. Por tanto, hacemos hincapié en el continuo monitoreo y en el seguimiento de cuidado de las aguas residuales, para que no se den pasos en retroceso. La vida útil de cada planta de tratamiento es aproximadamente de 25 años, antes de que las plantas sean obsoletas se tendrá que hacer un análisis de la conveniencia de que sigan en operación o sustituirlas, para esto se requiere hacer un análisis en el cual se detalle si su costo de mantenimiento es menor o mayor al de reposición.

No sólo las aguas de uso doméstico deben de ser tratadas, al igual, las industrias deben tratar sus aguas residuales antes de arrojarlas al drenaje urbano, pues estas son una de las fuentes principales de contaminación en el escurrimiento de la presa Valsequillo debido a la gran cantidad de químicas y sustancias vertidas en el agua. Es importante que se obligue a cumplir la normatividad en cuestión de calidad de descargas de agua residual a los centros industriales.

Para no incurrir en mayores costos de inversión es recomendable encontrar financiamiento en diversas instancias que se avoquen al apoyo del medio ambiente y en particular a la preservación del recurso agua.

El apoyo a los centros de investigación y universidades es un punto esencial, ya que estas instancias pueden coadyuvar a crear plantas que permitan un uso más eficiente, de bajo costo y de fácil manejo en el tratamiento de aguas negras de origen doméstico e industrial.

Sin duda alguna, debe existir un compromiso de apoyo por parte del gobierno para seguir con este tipo de programas sin importar el partido que este en el mando y una concientización de la población en el uso adecuado del agua.

Referencias

4th World Water Forum. (Marzo de 2006). Recuperado el 11 de Octubre de 2009, de http://www.worldwaterforum4.org.mx/sessions/FT3_60/5.%20Rescatemos%20Valsequillo.pdf

Black and Veatch. (2006). *Feasibility Study for the Valsequillo Watershed Clean-Up Program*. Reporte del Proyecto 144531.

CONAGUA. (2007). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. Diciembre 2006*. (S. d. Naturales, Ed.) México, México: Coordinación General de Atención Institucional, Comunicación y Cultura del Agua de la Comisión Nacional del Agua.

Milenio.com. (sf). (R. López, Editor, R. Velázquez, Productor, & Grupo Editorial Milenio) Recuperado el 22 de Marzo de 2010, de <http://impreso.milenio.com/node/7151267>

REMA. (2010). *Soluciones en Purificación y tratamiento de agua/ Equipos para Hotel*. Recuperado el Septiembre de 2010, de <http://www.rema.com.mx/plantaaguasnegras.html>

Rodríguez Tapia, L., & Morales Novelo, J. A. (2010a). *Reporte 1 Diagnóstico del impacto que provoca la contaminación de los cuerpos de agua, al medio ambiente, a las poblaciones y a las actividades económicas en el escurrimiento de la presa Valsequillo*. México.

Rodríguez Tapia, L., & Morales Novelo, J. A. (2010b). *Reporte 2 Valoración económica de los daños ambientales que provoca la contaminación de los ríos y presa Valsequillo en la población y la economía*. México.

Tchobanoglous, G., & Crites, R. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales: para núcleos pequeños y descentralizados* (2 ed.). (D. M. Camargo, & G. Mejía, Trads.) Colombia: Mc Graw Hill.

Anexos

Anexo 1. Población actual y estimada para el 2025 de los municipios ubicados dentro del escurrimiento de la presa Valsequillo

Municipio	Población 2010	Tasa de crecimiento de la población (%)	Población 2025
TLAXCALA			
Apizaco	76,072	1.31	92,472
Chiautempan	66,158	1.12	78,187
Ixtacuixtla de Mariano	36,263	2.16	49,966
Contla de Juan Cuamatzi	33,221	1.29	40,264
San Pablo del Monte	64,111	1.36	78,511
Tlaxcala	84,803	1.62	107,919
Tlaxco	42,016	1.98	56,382
Zacatelco	36,408	1.29	44,126
Amamax de Guerrero	9,642	2.46	13,883
Apetatitlán de Antonio Carvajal	15,786	3.48	26,370
Atlangatepec	6,683	2.33	9,441
Cuaxomulco	5,268	2.28	7,388
Muñoz de Domingo Arenas	4,980	2.16	6,862
Españita	8,054	1.14	9,547
Hueyotlipan	14,779	2.45	21,248
Mazatecochco de José María	10,576	2.90	16,238
Tepetitla de Lardizábal	17,758	1.91	23,586
Sanctórum de Lázaro Cárdenas	8,193	1.92	10,898
Acuamanala de Miguel Hidalgo	5,042	1.34	6,157
Nativitas	23,385	1.09	27,515
Panotla	30,532	2.61	44,937
Santa Cruz Tlaxcala	15,944	2.33	22,524
Tenancingo	11,289	1.14	13,382
Teolochoico	19,652	1.27	23,748
Tepeyanco	10,773	2.59	15,810
Tetla de la Solidaridad	29,598	3.51	49,659
Tetlatlahuaca	12,292	1.16	14,614
Tocatlán	5,399	1.27	6,524
Totolac	19,565	1.33	23,854
Tzompantepec	12,445	2.45	17,893
Xaloztoc	19,167	1.27	23,161
Xaltocan	8,502	1.19	10,153
Papalotla de Xicohténcatl	26,379	1.30	32,019
Xicohtzinco	11,790	1.17	14,038
Yauhquemecan	33,471	3.57	56,647
La Magdalena Tlaltelulco	16,218	1.31	19,714
San Damian Texoloc	4,776	0.94	5,496
San Francisco Tetlanohcan	10,262	1.26	12,383
San Jerónimo Zacualpan	3,661	1.05	4,282
San José Teacalco	5,213	1.17	6,207
San Juan Huactzinco	6,223	1.26	7,509
San Lorenzo Axocomanitla	4,782	0.96	5,519
San Lucas Tecopilco	3,270	0.99	3,791

Santa Ana Nopalucan	6,288	1.23	7,554
Santa Apolonia Teacalco	3,869	0.59	4,226
Santa Catarina Ayometla	7,292	0.49	7,847
Santa Cruz Quilehtla	5,629	1.28	6,812
Santa Isabel Xiloxotla	3,586	1.13	4,244
Subtotal	917,069	1.65	1,191,505
PUEBLA			
Puebla	1,570,447	1.30	1,906,184
San Martín Texmelucan	138,349	1.39	170,178
San Pedro Cholula	108,100	1.04	126,248
Amozoc	80,863	1.79	105,518
San Andrés Cholula	70,309	1.83	92,288
Huejotzingo	58,044	1.32	70,662
Cuatlancingo	56,568	2.03	76,470
Santa Rita Tlahuapan	34,806	1.34	42,498
Coronango	33,533	2.85	51,113
San Salvador El Verde	25,531	1.43	31,591
Ocoyucan	23,274	1.08	27,343
Chiautzingo	19,470	0.77	21,844
San Matías Tlalancaleca	17,937	1.26	21,642
Juan C. Bonilla	15,244	1.03	17,777
Calpan	11,457	0.90	13,105
San Miguel Xoxtla	11,171	1.59	14,154
San Felipe Teotlancingo	10,173	1.28	12,311
San Gregorio Atzompa	7,373	1.25	8,883
San Jerónimo Tecuanipa	6,412	1.94	8,554
Domingo Arenas	5,872	1.19	7,012
Tzicatlacoyan	7,631	2.48	11,019
Tlaltenango	6,262	3.12	9,927
Subtotal	2,318,824	1.56	2,846,322
TOTAL	3,235,893		4,037,827

Fuente: Estimaciones propias con base en Black and Veatch, 2006.

Anexo 2. Plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en los estados de Puebla y Tlaxcala

Municipio	Localidad	Nombre de la planta	Proceso	Capacidad l.p.s.	Flujo l.p.s.	Cuerpo receptor	Observaciones
PUEBLA							
Huejotzingo	Huejotzingo	Huejotzingo	Filtros biológicos	60	40	Drenaje agrícola	Rehabilitada en 2005
	Santa Ana Xalmimilulco	Santa Ana Xalmimilulco	Lagunas de estabilización	40	20	Río Xopanac	Reportada en 2005
Puebla	Heroica Puebla de Zaragoza	Atoyac Sur	Tratamiento Primario Avanzado	400	200	Río Atoyac	Inicio operaciones en 2001
	Heroica Puebla de Zaragoza	Parque Ecológico	Biodiscos	80	80	Río Alseseca/riego de áreas verdes	
	Heroica Puebla de Zaragoza	Puebla Alseseca	Tratamiento Primario Avanzado	700	500	Río Alseseca	Inicio operaciones en 2002
	Heroica Puebla de Zaragoza	Puebla Barranca del Conde	Tratamiento Primario Avanzado	340	180	Río Atoyac	Inicio operaciones en 2002
	Heroica Puebla de Zaragoza	Puebla San Francisco	Tratamiento Primario Avanzado	1,100	1,100	Río Atoyac	Inicio operaciones en 2002
Tlahuapan	San Juan Cuauhtémoc	San Juan Cuauhtémoc	Tanque Séptico	4	2.5	Drenaje Agrícola	
	Santa María Texmelucan	San Juan Cuauhtémoc	Reactor Anaeróbico UASB (RAFA)	5	3.8	Barranca sin nombre	Reportada en 2005
	Santiago Coltzingo	San Juan Cuauhtémoc	Lodos Activados	3	1.8	Barranca sin nombre	
TLAXCALA							
Hueyotlipan	Ignacio Zaragoza	Ignacio Zaragoza	Lagunas de estabilización	1	1.2	Laguna Atocha	Requiere desembocadura de descarga, extensión y rehabilitación
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	Espíritu Santo	Espíritu Santo	Pantano	1.1	0.5		Inicio operaciones en 2005. Operación deficiente
	Villa Mariano Matamoros	Ixtacuixtla	Lagunas aireadas	55	7.3	Desagüe de Buenos Aires	Requiere extensión y rehabilitación
José María Morelos Mazatecochco	Mazatecochco	Mazatecochco	Lagunas de estabilización	13	8.4	Barranca Tenejac	Requiere rehabilitación
Muñoz de Domingo Arenas	Muñoz	Muñoz	Lagunas de estabilización	2	1.9	Barranca Teopa	Requiere mantenimiento

Panotla	Panotla	Panotla	Lagunas de estabilización	12	11	Río Zahuapan	Requiere mantenimiento
Santorun de Lázaro Cárdenas	Francisco Villa	Francisco Villa	Lagunas de estabilización	3.2	2.9	Laguna Atocha	Requiere mantenimiento
Santa Cruz Quilehltla	Santa Cruz Quilehltla	Quilehltla	Pantano	3.8	3.3	Río Zahuapan	
Tepetitla de Lardizábal	Villa Alta	Villalta	Lagunas de estabilización	6.4	4.2	Río Atoyac	Requiere mantenimiento
Tepeyanco	San Cosme Atlamaxac	Atlamaxac	Lagunas de estabilización	50	61	Barranca Briones	Requiere rehabilitación y extensión.
Tetla de la Solidaridad	Tetla	Colonia Industrial	Lagunas aireadas	32	11	Barranca Los Ameyales	El proceso completo es lagunass aireadas- lagunas aeróbicas
	Tetla	Tetla	Lagunas de estabilización	70.3	14.9	Río Escalac	Requiere mantenimiento
Tetlatlahuca	San Andrés Cuamilpa	San Andrés Cuamilpa	Reactor Anaeróbico UASB (RAFA)	2	1	Barranca sin nombre	Inició operaciones en 2005. El proceso completo es anaeróbico reactor UASB-laguna facultativa
Tlaxcala	Tlaxcala de Xicoténcatl	Tlaxcala	Lagunas aireadas	250	260	Río Zahuapan	Requiere rehabilitación y extensión
Tlaxco	Acopinalco del Perdón	Acopinalco	Lagunas de estabilización	12.7	1.9	Barranca sin nombre	Requiere mantenimiento
	Tecomalucan	Atotonilco-Tecomalucan	Lagunas de estabilización	16.5	5	Barranca sin nombre	Inicio operaciones en 2003
	Tlaxco	Tlaxco	Lagunas de estabilización	7.9	11.3	Barranca Martinica	La planta fue construida en 1978. Requiere extensión y rehabilitación
Tocatlán	Tocatlán	Tocatlán	Lagunas de estabilización	7	4.3	Barranca sin nombre	Opera deficientemente-requiere rehabilitación
Tzompantepec	Ahuashuatepec	Apizaco A	Lagunas aireadas	220	120		
Yauhquemecan	Xaltocan	Apizaco B	Filtros biológicos	270	219		
Xaloztoc	Xaloztoc	Xaloztoc	Lagunas de estabilización	25	18.1	Barranca sin nombre	Opera deficientemente

Notas:

-Las plantas de tratamiento de aguas negras certificadas en CONAGUA, son independientemente de quien los construyó o los manejan.

-Sólo fueron incluidas las plantas de tratamiento de aguas negras con capacidad mayor a un litro por segundo.

- No fueron incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales para descargas industriales o descargas de hospitales y centros comerciales.
- Fueron incluidos los tanques sépticos o los sistemas formales de tratamiento de las áreas residenciales

Fuente: Black and Veatch, 2006.

Anexo 3. Propuesta de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en el escurrimiento de la presa Valsequillo 2010-2025

Municipio	Tipo de tratamiento	Capacidad total de tratamiento l.p.s.
PUEBLA		
Huejotzingo	Lodos Activados, Tanque Séptico, Filtros Biológicos	158.51
Cuautlancingo	Lodos Activados, Filtros Biológicos	123.26
Santa Rita Tlahuapan	Lodos Activados, Tanque Séptico, Tanque Imhoff	54.87
San Salvador El Verde	Lodos Activados	53.63
Ocoyucan	Lodos Activados	9.20
Chiautzingo	Lodos Activados	34.31
San Matías Tlalancaleca	Lodos Activados, Tanque Séptico, Filtros Biológicos, Tanque Imhoff	128.66
Calpan	Lodos Activados, Tanque Séptico	23.21
San Felipe Teotlancingo	Lodos Activados, Filtros Biológicos	20.36
San Gregorio Atzompa	Lodos Activados	19.70
Domingo Arenas	Lodos Activados	65.10
Subtotal	11	690.81
TLAXCALA		
Apizaco	Lodos Activados	260.00
Chiautempan	Lodos Activados	200.00
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	Lodos Activados	105.00
Contla de Juan Cuamatzi	Lodos Activados	85.00
San Pablo del Monte	Lodos Activados	185.00
Tlaxcala	Lodos Activados	270.00
Tlaxco	Lodos Activados	105.00
Zacatelco	Lodos Activados	110.00
Amamax de Guerrero	Lodos Activados	30.00
Apetatitlán de Antonio Carvajal	Lodos Activados	60.00
Atlangatepec	Lodos Activados	15.00
Cuaxomulco	Lodos Activados	15.00
Muñoz de Domingo Arenas	Lodos Activados	12.00
Españita	Lodos Activados	15.00
Hueyotlipan	Lodos Activados	40.00
Mazatecochco de José María Morelos	Lodos Activados	35.00
Tepetitla de Lardizábal	Lodos Activados	50.00
Sanctórum de Lázaro Cardenas	Lodos Activados	20.00

Acuamanala de Miguel Hidalgo	Lodos Activados	15.00
Nativitas	Lodos Activados	55.00
Panotla	Lodos Activados	100.00
Santa Cruz Tlaxcala	Lodos Activados	50.00
Tenancingo	Lodos Activados	35.00
Teolochoico	Lodos Activados	55.00
Tepeyanco	Lodos Activados	30.00
Tetla de la Solidaridad	Lodos Activados	100.00
Tetlatlahuaca	Lodos Activados	30.00
Tocatlán	Lodos Activados	13.00
Totolac	Lodos Activados	60.00
Tzompantepec	Lodos Activados	40.00
Xaloztoc	Lodos Activados	50.00
Xaltocan	Lodos Activados	17.00
Papalotla de Xicohténcatl	Lodos Activados	80.00
Xicohtzinco	Lodos Activados	35.00
Yauhquemecan	Lodos Activados	115.00
La Magdalena Tlaltelulco	Lodos Activados	45.00
San Damian Texoloc	Lodos Activados	12.00
San Francisco Tetlanohcan	Lodos Activados	30.00
San Jerónimo Zacualpan	Lodos Activados	9.00
San José Teacalco	Lodos Activados	12.00
San Juan Huactzinco	Tratamiento Primario	25.00
San Lorenzo Axocomanitla	Lodos Activados	12.00
San Lucas Tecopilco	Lodos Activados	7.00
Santa Ana Nopalucan	Lodos Activados	17.00
Santa Apolonia Teacalco	Lodos Activados	9.00
Santa Catarina Ayometla	Lodos Activados	18.00
Santa Cruz Quilehltla	Lodos Activados	14.00
Santa Isabel Xiloxotla	Lodos Activados	9.00
Subtotal	48	2,711.00
TOTAL	59	3,401.81

Fuente: Black and Veatch, 2006.